

甘肃省金山金矿地质特征及控矿因素

杨根生, 杨贵生, 王刚刚, 周晓亮, 李 嘉

(甘肃省地质矿产局第一地质勘查院, 甘肃天水 741020)

摘要: 为了研究金山金矿的控矿因素及矿床成因, 在研究成矿地质背景的基础上, 结合野外地质及前人研究成果, 采用地质、地球化学综合分析的方法, 对矿区内地层、构造、岩浆岩、矿体特征、稳定同位素、成矿温度压力、成矿流体及微量元素特征进行了剖析。研究表明: 金矿严格受断裂控制, 断裂是成矿的主导因素; 岩浆岩对成矿具有制约作用, 岩体外接触带 1~5 km 内的断裂构造是最佳的赋矿位置; 地质背景、含金建造与成矿关系密切; 矿床形成经历了沉积成岩期、变质成矿期、岩浆热液成矿期、表生成矿期 4 个阶段。金山金矿床受多因素控制, 具有物质多来源, 成矿多阶段特点, 其成因类型属地下热(卤)水渗滤型金矿床。

关键词: 金矿床特征; 控矿因素; 成因; 金山; 甘肃省

中图分类号: P618.51 **文献标志码:** A **文章编号:** 1672-6561(2008)01-0032-06

Geological Characteristic and Ore-controlling Factors of Jinshan Gold Deposit, Gansu Province

YANG Gen-sheng, YANG Gui-sheng, WANG Gang-gang, ZHOU Xiao-liang, LI Jia

(No.1 Institute of Geology and Mineral Exploration, Gansu Province Bureau
of Geology and Mineral Exploration, Tianshui 741020, Gansu, China)

Abstract To probe the ore-controlling factors and origin of Jinshan Gold Deposit, on the basis of studying the geological background of mineralization, by adopting the comprehensive geological and geochemical method, this paper analyzes the strata, structure, magmatic rock, ore-body character, stable isotop, temperature, pressure and fluid of mineralization and trace elements in the mining area. It is found that the gold deposit is controlled strictly by faults which are the leading factor of mineralization, the magmatic rock restricts the minerllization, the fault with the range of 1~5 km of external contact zone is the best position for ore location. Moreover, the geological background and gold-bearing formation are closely related to minerllization. The formation of mineral deoposit has undergone four stages, they are, sedimentary-diagenetic stage, metamorphic mineralizaion stage, magma-hydrothermal mineralizaion stage and exogenic mineralizaion stage. Jinshan Gold Deposit is controlled by multi-factors, poly-matter sources, multi-stages of mineralizaion, and it is a percolated and filtrated gold deposit by underground hot(thick gravity) water.

Key words: gold deposit characteristic; ore-controlling factor; origin; Jinshan; Gansu Province

0 引言

近年来在甘肃礼(县)一岷(县)成矿带上开展了多项地质大调查和科研工作, 取得了重大进展, 发现了金山、礼坝、杜沟、三人沟、罗坝、火吉坪、马

泉等一批新的金矿床(点)和金矿化点及物化探异常, 取得了大量突破性成果^[1]。随着国家对矿产资源的重视, 礼(县)一岷(县)成矿带又受到地学界的关注, 礼县金矿有望成为西北乃至全国重要的矿产基地。但是由于受地质工作区域所限仅对 F₁ 断层

收稿日期: 2007-06-07

基金项目: 中国地质调查局项目(121201053190)

作者简介: 杨根生(1966-), 男, 甘肃天水人, 工程师, 从事区域地质、矿产地质勘查与研究。E-mail: hx16512@163.com

©1994-2016 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

与成矿关系、成矿条件及找矿规律等进行专题性研究^[2],而未对矿床成因、控矿因素进行深入研究。笔者对礼(县)一岷(县)成矿带和金山、杜沟、火吉坪、竹子沟、李坝等大中型金矿床(点)研究中积累了丰富的经验,尤其对金山金矿地质特征进行过深入的研究,解决了矿床成因问题,并分析了控矿因素。专家曾预测礼(县)一岷(县)成矿带上远景储量达2 000 t以上。

1 区域地质背景

金山金矿床为甘肃中型矿床之一,位于秦岭造山带西段、中秦岭海西、印支冒地槽褶皱带。北亚带在晚古生代,属华北板块南侧陆缘海,沉积了一套以碎屑岩为主的深、次深海浊积岩系,李坝、金山等矿产于其中。印支—燕山期为西秦岭最重要的成矿期。金山一带出露地层以晚古生界为主,中泥盆统分布最广,与成矿关系最密切。

礼县—洮坪—喂子坝断裂带呈近东西向穿切本区南部,切割中泥盆统,是一条多期活动的深断裂带,它控制了区内南部金山等矿床的分布^[3]。

区内岩脉发育,常见于岩体及围岩中,岩脉类型有暗色岩脉和酸性岩脉。区内金矿化与岩浆活动密切,在空间上主要金矿床多分布于岩体外接触带1~5 km内。矿床内脉岩发育,部分脉岩穿切矿体,成矿时间应在主期岩浆侵入之后。

2 矿床地质特征

2.1 地层

矿床内出露地层主要为中泥盆统李坝群(D_2lb)第2和第3岩性段^[4](图1)。

第2岩性段分布于矿床东南部,为一套浅变质碎屑岩夹少量碳酸岩,主要岩性为石英黑云母片岩、粉砂质绢云母千枚岩、钙质粉砂质绢云母千枚岩、绿泥绢云母千枚岩等。矿床主要矿体产于该段灰绿色绢云母千枚岩、灰色粉砂质绢云母千枚岩及钙质粉砂质绢云母千枚岩中。

第3岩性段由大理岩、结晶灰岩、钙质粉砂质绢云母千枚岩、粉砂质绢云母千枚岩、变砂岩等组成,分布于矿区西北部。从西向东,碳酸盐岩夹层变少。

李坝群第2第3岩性段金质量分数分别为 6.7×10^{-9} 、 5.3×10^{-9} ,不同岩性金含量有较大差异。含金较高的岩性主要为泥质岩、板岩,其他成矿元

素铜、铅、锌、砷、锑等也较高,大理岩中成矿元素含量较低,碎屑岩中金含量随粒度减少而增加。

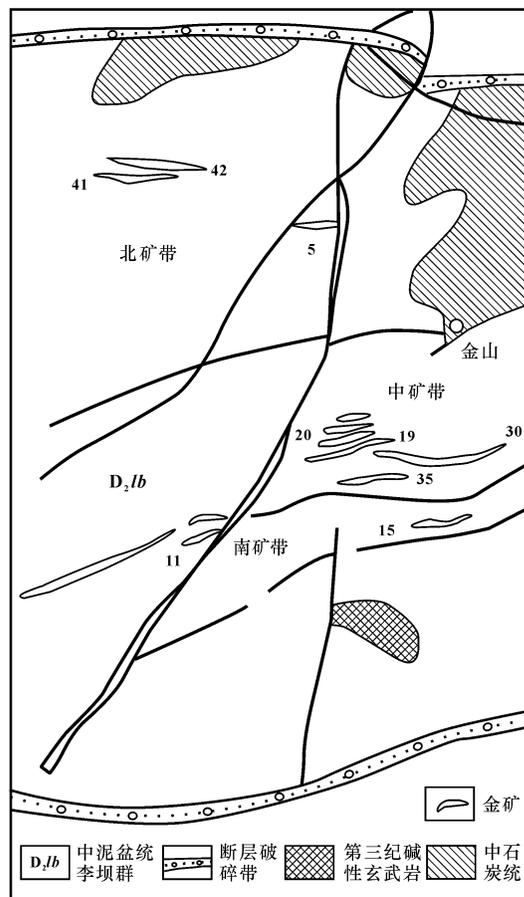


图1 金山金矿床地质图

Fig. 1 Geological Map of Jinshan Gold Deposit

2.2 构造

由于受礼县—洮坪—喂子坝大断裂影响^[5],矿床内断裂构造异常发育,按走向可分为4组:

2.2.1 近东西向组

该组断裂与地层走向一致,但倾角较陡。断裂常成群出现,形成较宽的片理化、糜棱岩化带,是金山矿床最主要的控矿构造。

2.2.2 北北东—北东向组

该组规模较大的 F_3 断层,走向 $20^\circ \sim 40^\circ$,南东倾,倾角 $68^\circ \sim 85^\circ$ 。规模较大延展远,局部形成几十米宽的破碎带,本身虽不含矿,但起着重要的导矿作用,与上述近东西向断裂共同起着控矿的配套作用。

2.2.3 南北向组

该组断裂与金矿化关系密切,与东西向含破碎带交汇叠加处,往往形成厚大矿体,品位亦明显变富,但其延展以不穿越出东西向主要控矿断裂为特征。

2.2.4 北西向组

该组断裂亦常见,但规槽较小,与成矿关系不密切。金山矿床控矿断裂带内外两侧较发育节理密集带,也是矿化的有利部位。

2.3 岩浆岩

火山活动主要发生于震旦纪—奥陶纪,这时秦岭海槽裂陷,伴随强烈的火山喷发,形成海相双峰式火山岩夹陆源碎屑和碳酸盐建造体^[9]。金山金矿床位于中川二长花岗岩与碌础坝花岗岩之间,北距中川岩 3.5 km,南距碌础坝岩体 5 km。成分与中国黑云母花岗岩平均成分相似,属铝过饱和、二氧化硅过饱和型钙碱性花岗岩,并以富钾和挥发性组分为特征。

矿区内闪长岩、煌斑岩等脉岩发育,其稀土元素组成特征与中川岩体相似,可能为同源产物。脉体本身并不含矿,但在空间上与金矿密切共生,矿体富、厚地段一般有煌斑岩出现^[7]。

2.4 矿体特征及工业类型

2.4.1 矿体形态规模及产状

金山矿床发现数十个矿体,其中 20、19-1、19-2、30、35 号为主矿体。主矿体长数百至千余米,厚 1.37~8.18 m,最大垂直深度 352 m,金质量分数为 $(1.21 \sim 22.44) \times 10^{-6}$,近东西走向,向北陡倾,倾角 $50^\circ \sim 70^\circ$ 。矿体形态主要为陡倾不规则板状体,如 30、35 号,其次为似层状矿体,如北带 5 号矿体,少数为细脉型矿体,如 10 号矿体。岩体赋存于中泥盆统李坝群第 2 岩性段的一套浅变质碎屑岩中^[8]。矿体表现为明显的褪色化,围岩具明显的斑点状构造,与成矿热液有关,其分布范围与褪色化蚀变范围一致。斑点受热液蚀变后表现为强烈的黄铁矿化、绢云母化和黑云母化、褪色化,黄铁矿化与金矿关系密切。

总之,斑点状构造是该类矿床重要的直接和间接标志。矿床按照矿脉的矿物共生组合分为含金(褐)黄铁矿化板岩型、含金黄铁矿石英脉型。

2.4.2 矿石特征

(1)矿物成分。矿石中金属矿物主要有黄铁矿、毒砂,次为磁黄铁矿、黄铜矿等,载金矿物主要为毒砂。金分布率近 55%,其次为黄铁矿、磁黄铁矿。非金属矿物主要有绢云母、石英、黑云母、绿泥石。非金属矿物中金的分布率达 20%以上,主要载金矿物为石英,次为方解石等。

(2)矿石结构、构造及矿物生长顺序。矿石结

构主要为自形晶结构、半自形、他形晶结构、包含结构,其次有骸晶结构、交代结构、碎裂结构。矿石构造主要为浸染状构造、斑点构造及脉状构造。根据矿石结构、矿物共生组合及矿物间的关系确定矿物生长顺序为黄铁矿→磁黄铁矿→毒砂→多金属矿物→金银系列矿物。

(3)金的粒度、成色及赋存状态。矿石中金以微细粒级为主,占 64%,细粒金占 28%,金的平均质量分数为 827×10^{-3} 。矿石中金以金银互化物形式形成独立矿物存在,主要为自然金,次为银金矿。以间隙金、裂隙金为主。

(4)矿石有益有害组分。矿石主要有益组分为金,伴生少量银,有害元素主要为砷。

2.4.3 矿石工业类型

根据氧化程度初步划分为氧化矿石和混合矿石、原生矿石。前者氰化浸出效果好,已被广泛利用,后两者浸出效果差,属难利用矿石。原生矿石属微细粒浸染型金银系列矿物为毒砂、黄铁矿石。

2.4.4 成矿期及矿化阶段

根据铝同位素模式年龄计算,成矿时代为燕山期(159~194 Ma),与中川岩体晚期侵入自主相一致或略晚,比脉岩侵入略早,形成于大规模岩浆活动期后。金山矿床成矿经历了沉积成岩期、变质期、热液期、表生期^[9]。

(1)沉积成岩期。该期沿礼县—高桥同生断裂的热水喷流及浊积岩的沉积,形成了莓球状黄铁矿、浸染状及团块状黄铁矿,并形成金的高背景值。

(2)变质成矿期。该期区域变质作用使该区李坝群一套碎屑岩受到大面积轻微区域变质,使岩石的泥质及部分粉砂重新结晶,定向排列,出现绢云母及少量绿泥石、晶质石英,为鳞片变晶结构,沿原层理方向呈板状及千板状构造。区域变质作用使金活化迁移,形成金的初步富集。沿裂隙形成变质白色石英脉或薄膜状黄铁矿,金矿化弱。

(3)岩浆热液成矿期。该期是矿床形成的主要成矿期。根据矿物组合、矿石结构构造,可分为早中晚 3 个成矿阶段:

早期石英硫化物阶段,形成黄铁矿、毒砂、石英、黄铁矿为粗晶,石英呈白色,不具金矿化或弱矿化。

中期硫化物成矿阶段,形成黄铁矿毒砂磁黄铁矿组合,伴有金矿化。

晚期碳酸盐石英多金属硫化物成矿阶段,形成磁黄铁矿、毒砂、黄铁矿的同时,出现铜、铅、锌、铋

硫化物、复硫酸、碳酸盐等矿物, 是金的主要成矿期。

(4)表生成矿期。该期硫化物被氧化, 形成以褐铁矿为主的氧化矿石, 伴随金的次生富集。

3 矿床地球化学特征

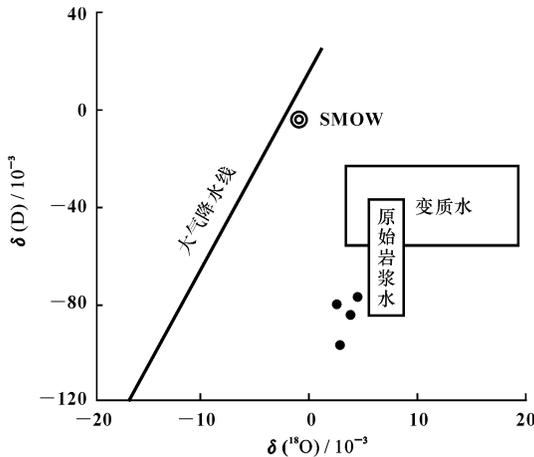
3.1 稳定同位素特征

3.1.1 硫同位素

毒砂中硫同位素质量分数为 $(5.5 \sim 7.7) \times 10^{-3}$, 平均 6.4×10^{-3} 。黄铁矿中硫同位素为 $(-0.9 \sim 3.5) \times 10^{-3}$, 平均 1.0×10^{-3} , 较富重硫。成矿条件与双王金矿最相近^[10], 因此认为成矿热液硫具混合硫特征, 主要来自地层。

3.1.2 氢、氧同位素

金山矿(化)体矿石中 4 个热液期石英样品 $\delta D = (-98.54 \sim -69.8) \times 10^{-3}$, $\delta^{18}O = (2.27 \sim 5.09) \times 10^{-3}$, 在 $\delta D - \delta^{18}O$ 投影(图 2)上落在岩浆水和大气水之间, 说明成矿溶液可能为渗入地层的大气水与岩浆水混合来源。



据 Taylor, 1974

图 2 金山金矿主成矿期石英包裹体水的 $\delta^{18}O - \delta D$ 关系

Fig. 2 $\delta^{18}O$ Versus δD Diagram of Fluid Inclusions in Quartz from Major Ore for Ming Stage Ore of the Jinshan Gold Deposit

3.1.3 铅同位素

2 个黄铁矿样品中, 铅同位素测定结果其模式年龄为 159~194 Ma, μ 值为 8.65, 其年龄相当于中川花岗岩体侵入晚期。

3.2 成矿温度压力

金山主要矿体的成矿温度为 $140 \text{ }^\circ\text{C} \sim 280 \text{ }^\circ\text{C}$, 属中低温热液成矿温度。

3.3 成矿流体特征

石英方解石中所见包裹体多为流相包裹体, 氯化钠质量分数为 $11.6\% \sim 30.2\%$, 平均 18.4% , 矿化度 $13.8 \sim 130.82 \text{ g/L}$, 平均 76.27 g/L , 成矿溶液相当于卤水。氟/氯质量浓度为 $0.43 \sim 0.76$, 据此成矿溶液应属地下热卤水。另外, 钠/钾质量分数为 4.57 , 钠/(钙+钾)为 0.076 也表明成矿溶液属地下热卤水型。

3.4 微量元素特征

单矿物分析结果见表 1, 从表中看出, 黄铁矿等矿物中微量元素钴、镍质量分数分别为 0.008% 、 0.014% , 钴/镍、硫、硒、硫/硒分别为 0.57 、 47.12% 、 0.0023% 、 204.87 , 碲小于 0.001% , 硒/碲大于 2。分析表明这些硫化物具岩浆热液成因的特点。

表 1 单矿物化学分析结果

Tab. 1 Chemical Analysis of Mineral Separates

| 矿物名称 | Au | Ag | As | Fe | S |
|------|-------|-------|--------|---------|-------|
| 毒砂 | 174 | 15.4 | 41.87 | 36.70 | 20.75 |
| 黄铁矿 | 10.7 | 6.2 | 0.98 | 44.63 | 47.12 |
| 综合脉石 | 0.7 | 1.5 | 0.033 | | 0.28 |
| 矿物名称 | Co | Ni | Se | Te | |
| 毒砂 | | | | | |
| 黄铁矿 | 0.008 | 0.014 | 0.0023 | < 0.001 | |
| 综合脉石 | | | | | |

注: Au、Ag 质量分数为 10^{-6} , 其他均为 %

4 控矿因素

4.1 地质背景对成矿的控制

金山矿床处于西秦岭构造岩浆活化区之一的闫井—罗坝区中^[11]。强烈的构造运动和大规模岩浆活动为成矿提供了强大热动力, 使地层中金得到活化、迁移。同时, 切穿地壳的深(大)断裂为深部成矿物质的带入创造了条件, 部分岩浆热液也参与成矿作用, 这就为成矿提供了丰富的物质来源。有利的地质背景从宏观上控制了礼县—岷县金矿化集中区的形成。

4.2 含金建造与成矿关系

区内广泛出露的上古生界地层是一套以浊积相为主的高背景含金建造^[12], 且富含硫化物, 有机质质量分数为 $0.04\% \sim 0.18\%$, 表明地层中金为易释放金。虽然地层、岩性没有直接控制作用, 但从稳定同位素、成矿流体、稀土元素组成等研究成果

看,这套地层是成矿流体和金的重要提供者。

4.3 构造是成矿的主导因素

构造运动尤其是对该区影响最强烈的印支—燕山早期运动,自始至终主导了成矿作用的全过程^[13]。

褶皱构造对成矿控制作用不显著,而断裂构造对成矿具有明显的多级控制作用。如前所述,区域性近东西向、北北东向深大断裂的交汇处控制着岩浆活化区的位置,从而控制了金矿化集中区的形成。同时,深大断裂本身既是大气降水下渗的通道,又是深部成矿流体向上运移的导矿构造,而沿深大断裂带因强烈挤压、剪切产生的热动力使岩石发生变形、变质及次级构造,为含金热液的产生、转移提供了条件。

深大断裂的次级断裂,既控制着岩体的位置,也直接控制着矿床的分布。高桥—礼县断裂的北支控制着李坝等金矿床的展布,而南支则控制着金山等矿床的展布。南支断裂带由近东西向平行的两条主断裂构成,是矿床导矿构造,金山矿床的主矿体均赋存于两条断裂挟持的地段内。两条断裂间呈北北东—北东向的张皮沟、吴家庄—金洞沟断裂是其次级断裂,为重要的控矿构造,含矿较弱或不含矿。3级、4级断裂及片理化带、节理密集带则是矿体定位空间。如30、35号矿体赋存于近东西向破碎带型构造中,10号矿体则赋存于南北向节理裂隙带中。据观察,控制矿体产出的断裂构造破碎带的内部组成主要有6种形式(图3)。

(1)裂隙带。由大量不连续的裂隙组成,裂隙的位移不大,但密集的裂隙使带内岩石切割强烈。

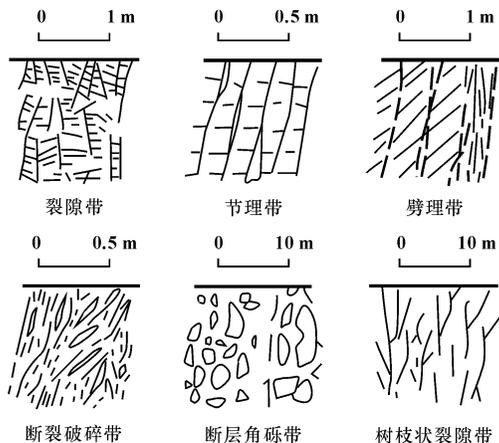


图3 控矿断裂的构造类型素描图

Fig. 3 Structure Types Sketch of Ore Controlling Fault

(2)节理带。由一组或几组节理组成,岩石被切割破碎。

(3)劈理及折劈理带。由近于平行的连续劈理组成,地层发生牵引时形成折劈理。

(4)断裂破碎带。带内岩石破碎疏松,没有明显的定向裂隙,由断层角砾不规则裂隙和细脉组成。

(5)断层角砾带。由棱角状角砾岩组成,有时呈拼接状,被石英脉、矿脉胶结。

(6)树枝状裂隙带。由不规则的张裂隙组成,具曲折分支形态。

受“X”型共轭断裂控制的岩体,在其侵入时形成环绕岩体的环状、锥状裂隙系统,常改造、迁就原有裂隙,倾向岩体,在岩体强力侵位后的晚期脆性变形阶段,形成具张剪性的正断层,容易成为岩浆和热液运移、充填的通道。因此,岩体侵位形成的裂隙也是矿床重要的控矿构造^[14]。

岩浆对金矿的控制作用主要表现在4方面^[15]:

(1)提供热液。使大气降水、地层建造水受热升温,在环流过程中溶滤地层中成矿元素,使之成为含矿热卤水。同时,使围岩发生热液变质,围绕岩体形成红柱石、堇青石带、黑云母带、绿泥石、绢云母变质带,改变岩石结构及矿物成分,形成堇青石、黑云母斑点、黑云母、石英、黄铁矿斑点等各种斑点构造及变斑状构造,使矿物粒度及孔隙度增大,有利于热液充填、交代成矿。

(2)侵入构造是重要的控矿构造,这里不再赘述。

(3)提供流体和成矿物质。本区岩浆岩金质量分数仅为 $(2 \sim 3) \times 10^{-9}$,比围岩低,但岩浆结晶分异作用可造成岩浆热液中金的富集,这些岩浆热液中金可参与成矿^[16]。对稳定同位素及包裹体的研究也表明,成矿流体可能混入部分岩浆热液,为一种多来源混合流体。

(4)控制矿床定位。金山矿床为硫化物(砷化物)金型^[17],成矿元素组合为金砷铋型,成矿温度为 $140^{\circ}\text{C} \sim 280^{\circ}\text{C}$ 。该类金矿不同于高温低硫化物石英脉型矿床,成矿流体中金主要以金硫络离子形式存在。金硫络合物在高温阶段稳定,中低温阶段及压力下降时易于离解。因此,在岩体逐渐冷却的岩浆期后阶段,其中低温梯度带内的断裂破碎带成为金矿定位的主要场所。

5 结语

(1)晚古生界含金建造, 为成矿提供了主要矿源^[16]。

(2)在区域变质作用下, 地层中金活化转移形成金的初步富集。

(3)印支—燕山运动早期, 强烈地俯冲挤压造山运动导致深部地层局部重熔, 形成原始花岗岩浆, 同时地层发生固态塑性变形, 伴随含水矿物脱水, 使建造水得到初步集中。

(4)中期伴随深断裂的多次活动, 岩浆多期侵入, 形成中川复式岩体, 并伴有热液接触变质作用。沿断裂裂隙下渗的大气降水及建造水、变质水在岩浆热动力的驱动下升温、运移, 不断溶滤地层中成矿物质并与岩浆水、深源水混合, 形成多来源、富含成矿物质的热卤水。

(5)在岩浆全侵入期后岩体趋于冷却的伸展环境中, 热卤水沿深断裂上升进入浅部次级断裂裂隙系统, 由于物理、化学条件的改变, 热液平衡系统受到破坏, 成矿物质被卸载, 主要以交代方式成矿, 并伴有围岩的蚀变。由于成矿热液的脉动性及矿物生成顺序的不同, 成矿显示出多阶段的特点。

总之, 金山金矿床受多因素控制, 具物质多来源、成矿多阶段的特点, 其成因类型属地下热(卤)水渗滤型金矿床。

参考文献:

[1] 彭巨贵, 张发荣, 赵福昌, 甘内蒙北山地区成矿带划分和基本特征对比[J]. 地球科学与环境学报, 2006, 28(3): 11-18.

[2] 郭朝晖. 李县金山金矿田西部地区成矿条件及找矿规律[J]. 甘肃地质学报, 1999, 8(增刊): 54-59.

[3] 殷先明, 任丰寿, 徐家乐, 等. 甘肃岩金矿床地质[M]. 兰州: 甘肃科学技术出版社, 2000.

[4] 甘肃省地质矿产局. 甘肃省岩石地层[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1997.

[5] 赵先虎. 礼县金山金矿田 F₁ 断层与成矿关系[J]. 甘肃地质学报, 1999, 8(增刊): 60-61.

[6] 霍福臣, 李永军. 西秦岭造山带与地质演化[M]. 西安: 西北大学出版社, 1998.

[7] 陈源. 西秦岭北带与金有关的脉岩[J]. 黄金, 1993, 14(8): 1-6.

[8] 李健中. 西秦岭碎屑岩型金矿成矿地质特征[J]. 甘肃地质学报, 1999, 8(增刊): 41-47.

[9] 李锁成, 陈永彬, 赵彦庆, 等. 西秦岭北部蛇绿混合杂岩带成矿作用与区域构造演化的关系[J]. 矿床地质, 2005, 24(6): 656-662.

[10] 谭运金, 邵世才. 西秦岭礼县—太白地区金、铅锌矿床的地质地球化学[J]. 矿床地质, 2000, 19(3): 201-210.

[11] 宋忠宝, 冯益民. 中川花岗岩构造岩浆活动特征与成矿作用[J]. 西安地质学院学报, 1997, 19(4): 48-52.

[12] 方维萱, 胡瑞忠, 张国伟, 等. 秦岭造山带泥盆系热水沉积相的亚相划分及特征[J]. 地质与勘探, 2001, 37(2): 50-54.

[13] 高浩中, 蔡新平, 张宝林, 等. 找出最主要的控矿因素, 建立三因控矿分析思路[J]. 地质与勘探, 1998, 34(5): 1-2.

[14] 梅友松. 成矿规律若干问题研究[J]. 地质与勘探, 2005, 41(6): 3-14.

[15] 陈源. 西秦岭北带中川花岗岩杂岩体与微细粒金矿关系探讨[J]. 有色金属矿产与勘察, 1993, 2(2): 72-78.

[16] 赵彦庆, 李永琴, 陈国忠. 西秦岭金属成矿的准对称特征及找矿意义[J]. 甘肃地质学报, 2004, 13(2): 85-88.

[17] 栾世伟, 陈尚迪, 曹殿春, 等. 金矿床地质及找矿方法[M]. 成都: 四川科学技术出版社, 1987.

《地球科学与环境学报》又被多家国际文摘检索机构收录

继 20 世纪 90 年代初《地球科学与环境学报》被美国《化学文摘》、美国《地质学题录与索引》、俄罗斯《文摘杂志》收录后, 2006 年以来, 本刊先后又被美国《石油文摘》、美国《乌利希国际期刊指南》、美国《剑桥科学文摘: 自然科学》收录, 这表明《地球科学与环境学报》在国际地学界的影响力不断扩大, 也是广大作者、审稿专家与本刊编辑部共同努力的结果。

《地球科学与环境学报》编辑部